

Predikce extrémního dynamického úderu

Anotace: Síla úderu je důležitá informace pro posouzení zranění hlavy a organismu. V příspěvku jsou prezentovány výsledky experimentů. Měření bylo provedeno na vzorku průměrné populace mužů. Výsledky ukazují, že nebyla prokázána výrazná závislost velikosti dynamické složky síly úderu na tělesné hmotnosti a neprokázala se relevantní závislost velikosti dynamické složky síly úderu na tělesné výšce. Maximální hodnota síly přímého úderu závisela na stupni trénovanosti pokusné osoby. Výsledky měření byly v intervalu od 765 N (netrénovaní) až 2917 N (vysoce trénovaní).

Klíčová slova: Síla, biomechanika, úder, zrychlení, zranění hlavy.

Úvod

Pro posuzování poranění lebky tupým předmětem je velice důležitá znalost působící síly. Síla úderu je jeden z důležitých faktorů, který dává informaci o intenzitě úderu. Při biomechanickém hodnocení nás zajímá vždy maximální složka působící síly na tělo druhé osoby. Údaje o velikosti sil vznikajících při úderném působení jsou v naší i zahraniční odborné literatuře velice vzácné. V literatuře se objevují sporadické údaje, které jsou velmi často měřeny na vrcholových sportovcích, při úderu boxerů, karatistů atd. Pro potřeby forenzního hodnocení je ovšem nutné znát hodnotu běžné populace. Lze konstatovat, že velikosti působících sil při úderu jsou zatím neznámé, literární údaje jsou velmi sporadické a zcela chybí experimentální údaje.

Cíl a metody

Cílem našich výzkumů bylo experimentálně změřit maximální sílu přímého úderu – direktu, její závislost na tělesné výšce, tělesné hmotnosti a trénovanosti a stanovit průměrné hodnoty pro sledované skupiny. Těžiště naší experimentální práce spočívalo zejména v důkladné analýze dynamiky přímého úderu – direktu provedeného pokusnou osobou ze zadní ruky a střehového postavení vždy tzv. silnou paží a bez chrániče či rukavice. Měření jsme provedli jak pro nekonečnou hmotu (pevná deska umístěná na zdi), tak pro ustupující hmotu (segment simulující hlavu člověka).

Stanovili jsme si následující úkoly:

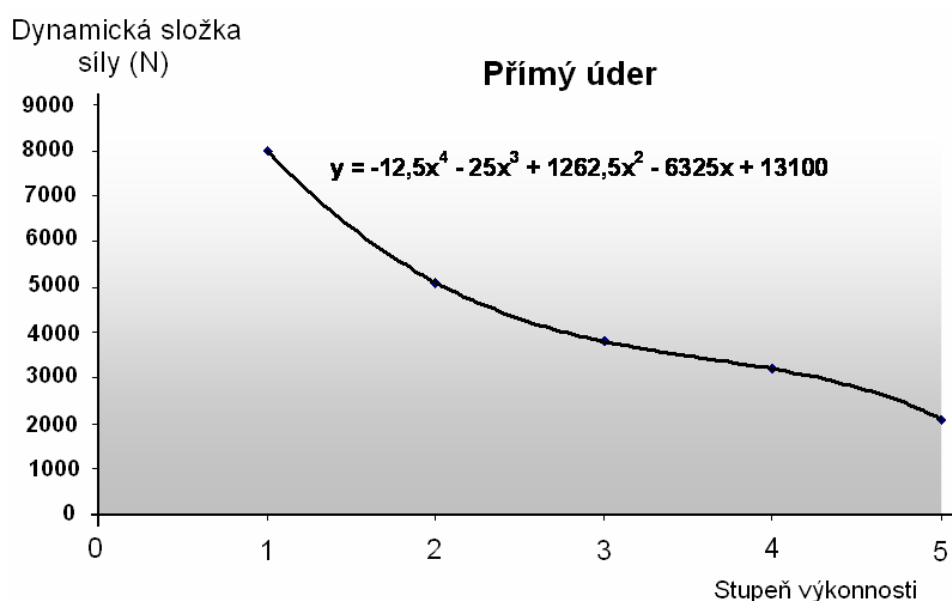
- navrhnout vhodnou metodiku měření
- vybrat reprezentativní skupinu pokusných osob
- provést základní měření dynamické složky síly přímého úderu silnou paží ze zadní ruky a střehového postavení

Z dostupných pramenů vyplývá, že pro měření síly úderu bývají používána zařízení jako tenzometrické desky nebo již výše zmíněné dynamometrické dráhy, jejichž v našich podmínkách nízká dostupnost a vysoká finanční, často i prostorová, náročnost na pořízení nás víceméně donutila k hledání vlastní cesty. Navrhli jsme proto vlastní postup, jehož pomocí můžeme při zanedbatelných nákladech dosáhnout srovnatelné přesnosti výstupů. Využíváme vytvořeného mechanického modelu úderného předmětu, který velmi dobře simuluje hmotnost lidské hlavy. Po stránce materiálně-technického vybavení nám postačilo 15 kg plaveného písku, výškově nastavitelný stativ s měřítkem a pásmo. Písek byl rozdělen do třech balíčků přibližně válcového tvaru o hmotnostech 3, 5 a 7 kg, přičemž jsme po pilotním měření rozhodli, že nadále bude používáno pouze závaží o hmotnosti 5 kg, které se u testovaných osob osvědčilo nejlépe. Hmotnost hlavy je uvažována v 6,94 % hmotnosti těla, pak zvolená hodnota 5 kg přesně odpovídá pro hmotnost průměrného somatotypu člověka.

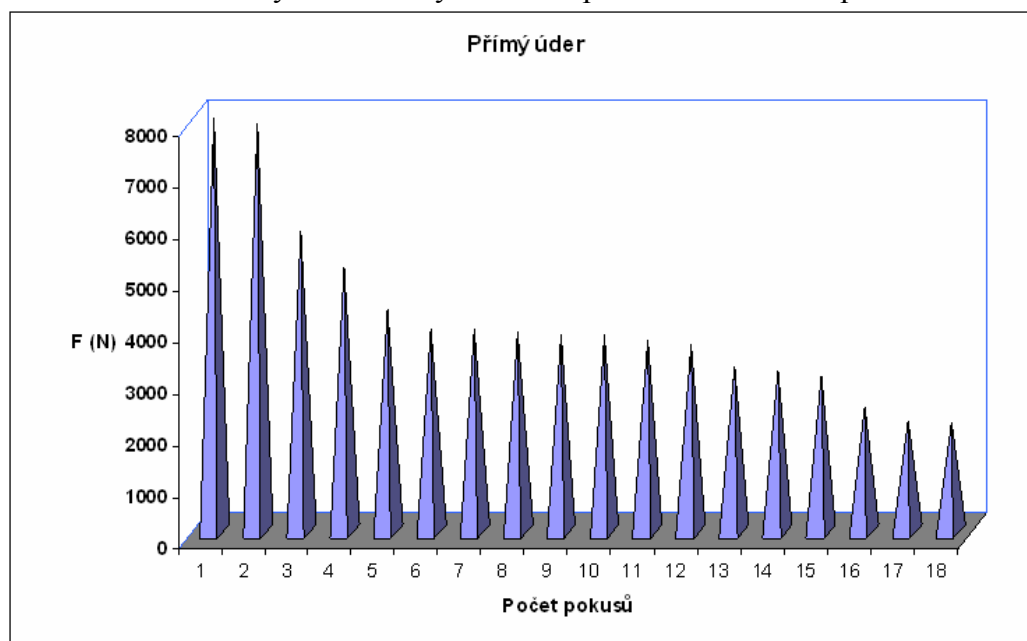
Výsledky

Vlastní měření jsme provedli na vzorku studentů, mužů při úderu ve střehovém postavení, každý provedl několik přímých úderů, měřily jsme vstupní parametry pro následný výpočet. Měření jsme provedli se souborem 40 mužů ve věku 21 – 55 let, u nichž byla před zahájením experimentu zjištěna tělesná hmotnost výška a které bylo možno dle stupně trénovanosti rozdělit do pěti skupin označené známkou 1 – 5, následujícím způsobem 1 - vysoce trénovaní, 2 – dobře trénovaní, 3 – průměrně trénovaní, 4 – podprůměrně trénovaní, 5 – netrénovaní.

Údery měřené do tenzometrické desky byly provedeny ze střehového postoje do pevně umístěné desky na zdi. Každý provane byl vyzván, aby si několikrát úder vyzkoušel a poté provedl úder maximální silou tak, aby snesl bolest úderu a nezranil se. Výsledky jsou uvedeny na grafu (Obr. 1). Za pozornost stojí krajní hodnoty úderu dosahující 8 kN, tyto hodnoty jsme dosáhli ve dvou případech.



Obr. 1 – Závislost síly úderu na výkonnosti sportovce a technice provedení úderu



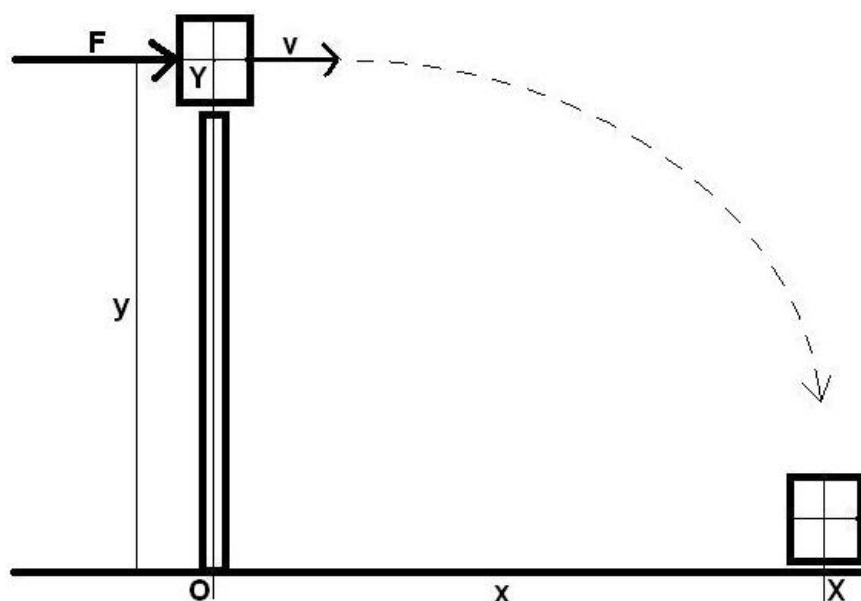
Obr. 2 – Variabilita maximální složky přímého úderu

Ve druhé etapě jsme zjišťovali sílu úderu (její dynamické složky síly v okamžiku maxima) při úderu do ustupující hmoty. Pro všechny skupiny bylo používáno pískového závaží o hmotnosti 5 kg, údery byly prováděny ze zadní ruky a střehového postavení tzv. silnou paží a pro každou pokusnou osobu byla výška těžiště závaží nastavena do úrovně výšky ramene osoby. Každá pokusná osoba měla k dispozici tři cvičné 'nástřelné' údery, které následovaly celkem tři měřené pokusy, z nichž vždy nejdelší byl zadokumentován a dále použit pro výpočty. Výpočet jsme provedli podle impulsu síly, který je definován jako integrál ze součinu síly přírůstku času nebo za pomoci práce síly.

Námi navržená a použitá metodika měření velikosti dynamické složky úderné síly přímého úderu, direktu vedeného ze zadní ruky a střehového postavení tzv. silnou paží, umožňuje při nevelkých nákladech zjistit potřebnou hodnotu. Uvedené výpočty dovolují přesný výpočet ve znalecké činnosti, zejména při hodnocení extrémního dynamického zatížení organismu při násilných trestných činech. Porovnáním s literárními údaji lze srovnat získané hodnoty a publikované hodnoty.



Obr. 3 – Kinogram úderu do simulovaného modelu hlavy



Obr. 4 – Schéma pro výpočet síly úderu

Podle schématu na obr. 4 jsme měřili hodnoty x , y , z nichž jsme spočítali horizontální složku rychlosti břemene, její kinetickou energii a přeměnu v práci. Výsledná síla byla zjištěna z rovnice kinematické energie a dráhového účinku síly (práce síly).

Útočníkův úder bude účinný, pokud se na něj připraví vhodným postojem a optimální vzdáleností od poškozeného. Správný úder také ovlivní otáčení či přemístění trupu. Při úderech těžkými objekty se trup zapojí také. Naopak úder, který je proveden pouhým pohybem končetiny, nebude tolik efektivní. Efektivním a také velmi nebezpečným, vzhledem k pouhému pohybu končetiny, kdy není aktivita útočníka naznačena aktivací trupu, je na příklad použití krátké chladné zbraně.

Úder, v jehož závěru se na brzdě dráze převádí v deformační práci maximální množství kinetické energie v něm obsažené, bude efektivní. Je-li veden tento úder do tvrdého materiálu (např. do pružné zdi), nazýváme jej úderem v rezistenci. Kinetická energie, která se v závěru úderu mění na brzdě dráze na deformační energii, a tato je dostačující, způsobí, že takový úder pak dokonale vyřadí protivníka z akce. Jestliže je ale kinetická energie málo dostačující, při úderu se protivník například dostane pouze do mráкотného stavu na několik vteřin. Na brzdě dráze se tedy může uplatňovat velká nebo malá kinetická energie E_k .

Kinetická energie (E_k) úderu se při zásahu cíle mění v deformační práci (A), deformační práce je vykonána údernou silou (F) po brzdě dráze (s) uvedený vztah lze vyjádřit:

$$E_k = A = F \cdot s \Rightarrow F = \frac{E_k}{s} = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot s}$$

Velikost vnější působící síly v okamžiku úderu je přímo závislá na pohybující se hmotě (např. velikosti zátěže) čtverci rychlosti v okamžiku dopadu na cíl a nepřímo úměrná deformační dráze.“

V praxi útočník pro úspěšnou realizaci svého záměru provede úder s plným nasazením. Kinetická energie úderu je přenesena na poškozeného a je spotřebována deformační prací v oblasti zásahu. Se zvyšující se dynamickou složkou síly a klesající brzdou drahou roste účinnost úderu. Brzdě dráha se zmenší pomocí zpevnění úderné plochy.

Kinetickou energii, a tudíž i účinnost úderu, lze omezit několika způsoby.

Vzhledem k tomu, že hmotnost končetiny a rychlost úderu nelze podstatně měnit, je u jednotlivého útočníka kinetická energie konstantní. Z tohoto lze dovodit, že o velikosti dynamické složky bude rozhodovat pouze délka brzdné dráhy. Jedním ze způsobů, jak omezit účinky kinetické energie, je tedy prodloužení brzdné dráhy. Prodloužení brzdné dráhy na straně útočníka můžeme zamezit tréninkem úderů do tvrdých ploch, kdy omezíme deformaci například pěsti, zmenšíme mikropružení v lokti a rameni a snížíme pružení celého těla. Dále brzdnou dráhu omezíme útokem na pevné části těla. Na straně poškozeného je při úderu do hlavy brzdná dráha prodlužována jejím následným záklonem, ztrátou stability postoje či uvedením poškozeného do pohybu.

Změnou úhlu zásahu můžeme měnit velikost kinetické energie úderu. Při kolmém úderu na plochu cíle bude účinek síly maximální.

Kinetickou energii omezíme změnou cíle chtěnou či neúmyslnou činností útočníka nebo poškozeného, např. otočením těla bokem, nastavením paží, úderem na jiný cíl, apod.

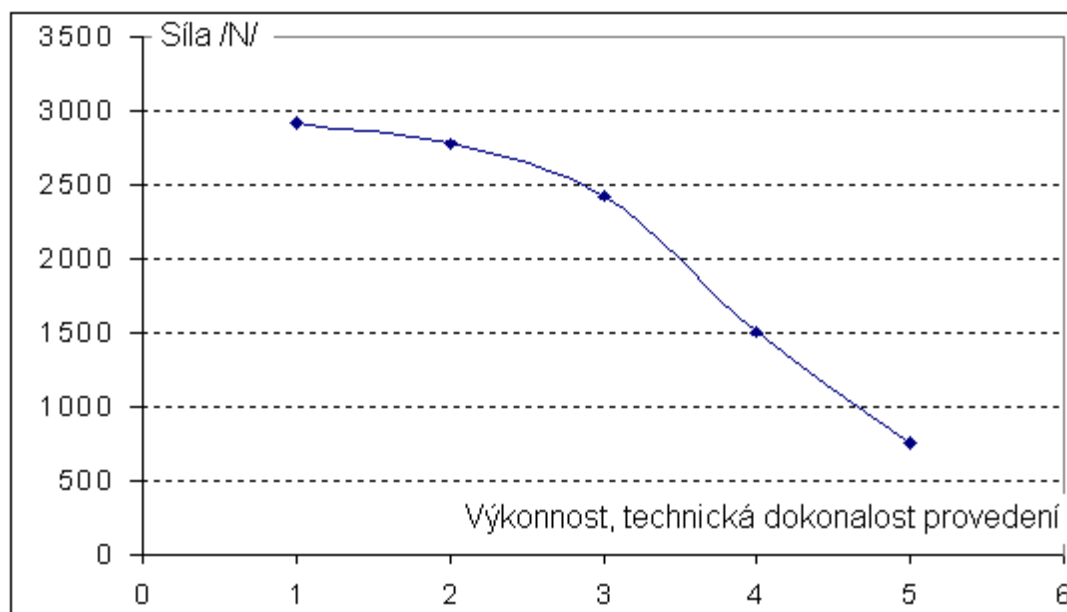
Účinnost úderu je výrazně snížena příliš dlouhou nebo naopak, příliš krátkou dráhou. V těchto případech kinetická energie nedosáhne vzhledem k tomu, že se končetina nepohybuje po přímce, ale po křivce za účelem vyvážení dopadové rychlosti tak, aby byla úderová rychlost co největší, optimálních hodnot. Tomuto lze zabránit interaktivním tréninkem.

Vlastní úder je iniciován podnětem. Podnět může být vnitřní – rozhodnutí útočníka udeřit nebo vnější – reakce na činnost poškozeného. Poté dochází k začátku pohybu končetiny. Na konci pohybu dochází k zasažení oblasti cíle. Následuje pro biomechaniku velmi důležitá fáze deformace cíle – deformace kůže, podkožních vrstev, zlomenina kosti. Tuto fázi můžeme nazvat účinkem úderu.

Údaje o rychlostech úderů horních končetin jsou velmi vzácné a omezené. V minulosti proběhlo jen několik výzkumů, a to spíše se zaměřením na sportovní problematiku, kdy byly měřeny maximální rychlosti úderů u špičkových sportovců, především boxerů a karatistů.

Tabulka – Přehled publikovaných hodnot působení dynamické síly

Autor	F [N]
BRADÁČ (1999) • úder ramenem • úder zády • pravý direkt • levý direkt • pravý hák • levý hák	• 2480 • 3080 • 1600 – 2700 • 1550 – 2000 • 2100 – 2800 • 1900 – 2200
KARAS (1994) • subjektivně slabý úder • subjektivně střední úder • subjektivně silný úder • průměrná hodnota	• 1 800 • 2 025 • 2 167 • 1 997
FRITSCHÉ (1981) Údery boxerů boxerskou rukavicí • pravý direkt • levý direkt • pravý hák • levý hák	• 1 600 – 2 700 • 1 550 – 2 000 • 2 100 – 2 800 • 1 900 – 2 200
STRAUS (2007) • vysoce trénovaní • dobře trénovaní • průměrně trénovaní • podprůměrně trénovaní • netrénovaní	• 2917 • 2775 • 2424 • 1510 • 765
WALILKO, VIANO, BIR (2005) Údery boxerů vrcholové úrovně (OH) • průměrná hodnota • maximální • minimální	• 3427 • 4800 • 3000



1 - vysoce trénovaní, 2 - dobře trénovaní, 3 - průměrně trénovaní,
4 - podprůměrně trénovaní, 5 - netrénovaní

Obr. 5 – Závislost síly úderu na trénovanosti

Na základě vlastní experimentální práce můžeme konstatovat následující:

- nebyla prokázána výrazná závislost velikosti dynamické složky síly úderu na tělesné hmotnosti,
- nebyla prokázána výrazná závislost velikosti dynamické složky síly úderu na tělesné výšce,
- je možno konstatovat značnou závislost velikosti dynamické složky síly úderu na stupni trénovanosti pokusné osoby.
- průměrná hodnota velikosti dynamické složky úderné síly pro jednotlivé sledované skupiny je následující:

1. vysoce trénovaní	2917 N
2. dobře trénovaní	2775 N
3. průměrně trénovaní	2424 N
4. podprůměrně trénovaní	1510 N
5. netrénovaní	765 N

Měření na dynamometrických drahách u mužů normální populace, kteří nejsou aktivními sportovci, bylo zjištěno, že lze dosáhnout těchto hodnot kolem 2000 N.

Za průměrnou hodnotu, kterou vyvine středně zdatný muž, hmotnosti 75 kg při přímém direkt, můžeme uvažovat hodnotu 2150 N, s rozpětím 1600 – 2700 N.

U sportovců nebo u fyzicky zdatných osob lze dosáhnout samozřejmě vyšších hodnot. Osoba, která např. měří 185 cm a váží 75 – 90 kg, může vyvinout při úderu vyšší maximální amplitudu dynamické složky síly úderu, lze uvažovat sílu úderu v intervalu 2100 N – 3200 N, průměr 2650 N.

Maximální složka přímého úderu závisí na několika faktorech, obecně lze stanovit prvky výsledné síly úderu, jsou to z čistě mechanického hlediska – dopadová rychlost – impakt (tj. doba rázu). Z hlediska biomechaniky to jsou – technika provedení, dráha deformace, úhel zásahu, zpevnění ruky při zásahu, schopnost přenosu energie celého těla.

Literatura

- BRADÁČ, A. a kol. *Soudní inženýrství*. Brno : CERM, 1999.
- FIALKA, J. Biomechanika tupého poranění. *Sborník IV. symposia "Kriminalistické, soudně lékařské a soudně inženýrské aplikace biomechaniky*. Praha : IVVZ FMV, 1990, s. 67 – 75.
- FRITSCHÉ, P. Biomechanical analysis of boxing. In MORECKI, K., FIDELUS, K. et. al. *Biomechanics*. Baltimore MD : University Park Press, 1981, s. 343 – 349.
- GADD, C., W. Use of weighted impulse criterion for estimating injury hazard. In *Proc. Tenth Stapp Car Crash Conf.*, New York : Soc.Auto Engrs., 195, 1966.
- HICKLING, R., WENNER, M. L. Mathematical model of a head subjected to an axisymmetric impact. *J. Biomechanics*, vol.6, n. 2, 1973.
- KARAS, V., STRAUS, J. Tolerance organismu člověka na některé extrémní dynamické situace. In *Biomechanika člověka 96*, 6. Národní konference, Tichonice : ÚTAM AV, 1996, s. 97 – 100.
- KORSAKOV, S. A. Suděbno-medicinskije aspekty biomechaniky udarnovo vzajmodějstvija tupovo tverdovo predmeta i golovy čelověka. *Suděbno-medicinskaja ekspertiza*. 3, 1991.
- MOGUTOV, S. V. Sudebno-medicinskija ocenka povrežděnij kostěj čerepa sferičenskimi predmetami. *Sudebno-medicinskija ekspertiza*, 2, 1984.
- NOVÁK, J., ŠPIČKA, I. *Tvrký úder v sebeobraně MS-1*. II. Díl., Praha : TJ Elektrofakulta, 1983.
- PATRICK, L. M. *Head impact protection*. Toronto: J. B. Lippicot co, 1966.
- PAVROVSKÝ, J. Poranění lbi a mozku. Praha : Avicenum, 1977.
- STRAUS, J. *Biomechanika tupého poranění hlavy*. Praha : PA ČR 2000.
- STRAUS, J. *Biomechanická charakteristika extrémního dynamického zatěžování*. Závěrečná výzkumná zpráva VU 3/1, Praha : PA ČR 2007.
- WALILKO, TJ. VIANO, D. C., BIR, C. A. Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face. *British Journal of Sports Medicine*; Oct. 2005, Vol. 39 Issue 10, p. 710 – 719, 10p

Keywords: Force, power, biomechanics, stroke, acceleration, head injury.

Resumé

Biomechanical aspects of direct stroke

Power of stroke is significant information for assessment head injury and body injury. There has been studied translational and rotational acceleration of the power of stroke. There are presented results of experiments in the article. Measurement was made in the average man's population specimen. Presented results showed that has not been certified marked dependence between quantum of the dynamic component of the power of stroke and body weight. There also has not been certified relevant dependence between quantum of the dynamic component of the power of stroke and stature. Maximum value of the power of direct stroke is depending on training grade of experimental person. Results of measurement has been in interval from 765 N (untrained) to 2917 N (highly coached).

Prof. PhDr. Jiří Straus, DrSc.
Policejní akademie ČR v Praze
Katedra kriminalistiky
e-mail: strasus@polac.cz

Recenzenti: prof. Ing. Václav Krajník, CSc., doc. JUDr. Jozef Meteňko, PhD.